不同中性洗涤纤维水平饲粮对早期断奶羔羊生长性能、血清指标、屠宰性能和组织器官发育的影响

解　彪[1, 2]　张乃锋[1*]　崔　凯[1]　王世琴[1]　吕小康[1]　刁其玉[1*]
（1.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室，北京　100081；2.山西农业大学动物科技学院，太谷　030801）

摘　要：本试验旨在研究不同中性洗涤纤维（NDF）水平饲粮对早期断奶羔羊生长性能、血清指标、屠宰性能和组织器官发育的影响。选用 100 只体况良好，体重[（6.10±0.10） kg]和日龄（18±2）接近的湖羊公羔，随机分为 4 个组，每组 5 个重复，每个重复 5 只羔羊。各组分别饲喂 NDF 水平分别为(10N 组)、15%(15N 组)、20%(20N 组)和 25%(25N 组)的饲粮。所有羔羊在 21~60 日龄均饲喂相同代乳粉。预试期 3 d，正试期 70 d。结果表明：1）在 50、60、90 日龄时，20N 和 25N 组羔羊平均体重均显著高于 10N 组（P<0.05），相应的在 41~50 日龄、51~60 日龄及 21~60 日龄时，20N 和 25N 组羔羊平均日增重和平均干物质采食量也显著高于 10N 组（P<0.05）。除 51~60 日龄，其余各阶段各组间羔羊饲料转化率差异不显著（P>0.05）。2）15N 组羔羊血清肌酐含量显著高于 20N 和 25N 组(P<0.05)，15N、20N 和 25N 组羔羊血清β-羟丁酸含量显著高于 10N 组(P<0.05)。3）20N 和 25N 组羔羊宰前活重和胴体重均显著高于 10N 组(P<0.05)。4)25N 组羔羊头占宰前活重的比例显著低于 10N 组(P<0.05)，而蹄重、心脏重、肝脏重和脾脏重均显著高于 10N 组(P<0.05)。20N 组羔羊心脏重和肝脏重显著高于 10N 组(P<0.05)。综合得出，饲粮 NDF 水平为 20%或 30%时，能够促进羔羊生长性能、屠宰性能以及心脏、肝脏等器官重量。

关键词：中性洗涤纤维；早期断奶羔羊；生长性能；屠宰性能
中图分类号：S826

早期断奶技术已成为现代畜牧业常规技术之一，其不仅有利于缩短母羊繁殖间隔，而且可以促进羔羊的生长性能及胃肠道的发育[1-2]。早期断奶羔羊的生长发育受液体饲料营养物水平[3]、来源[4]和饲养策略[1]等方面的影响，并且还受到固体饲料理化性质和营养水平的调控。粗饲料作为饲粮组成的主要部分之一，对幼龄反刍动物的生长发育至关重要。研究表明，补饲粗饲料促进了犊牛的平均日采食量和平均日增重[5-6]；但是采食过高的粗饲料又会由于幼畜利用纤维类物质能力有限和粗饲料在瘤胃中积累导致采食量降低[7]。在评价粗饲料纤维成分营养价值时，中性洗涤纤维（NDF）是广泛应用的营养指标。NDF 一方面对幼畜采食

收稿日期：2017-09-03
基金项目：国家公益性行业（农业）科研专项（201303143）；国家肉羊产业技术体系建设专项（CARS-39）
作者简介：解　彪（1991-），男，山西清徐人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail：xiebiao1122@163.com
*通信作者：张乃锋，研究员，硕士生导师，E-mail: zhangnaifeng@caas.cn；刁其玉，研究员，博士生导师，E-mail: diaoqiyu@263.net

量、采食时间、反刍时间、咀嚼时间等咀嚼活动有重要的影响[8-10]；另一方面对瘤胃发育有重要的调控作用，高 NDF 水平饲粮使瘤胃液 pH 升高[9]，维持适宜瘤胃内环境，促进幼畜采食量。另外，最新的文献表明 NDF 水平可能是影响幼畜生长性能最关键的因素[11]。关于育肥阶段羔羊饲粮适宜的 NDF 水平已有相关研究[12]，而对于早期断奶羔羊仅研究表明补饲粗饲料促进了羔羊的生长性能和屠宰性能[13]，但是关于饲粮适宜的 NDF 水平还未见报道，仍需进一步的研究。因此，本试验以饲粮 NDF 水平为试验因子，以早期断奶湖羊羔羊为试验动物，研究不同 NDF 水平饲粮对羔羊生长性能、血清指标、屠宰性能和组织器官发育的影响，以期探究羔羊的生长规律和饲粮适宜的 NDF 水平，为科学合理制定配方提供理论依据。

1　材料与方法

1.1 试验时间与地点

本试验于 2016 年 11 月至 2017 年 2 月在江苏海伦羊业有限公司进行。

1.2 试验设计

本试验采用单因素试验设计，选择体重[（6.10±0.10） kg]和日龄[（18±2）日龄]接近的湖羊公羔 100 只，随机分为 4 组，每组 5 个重复，每个重复 5 只羔羊。各组分别饲喂 4 种饲粮，基础饲粮不添加粗饲料(NDF 水平为 10%，10N 组)，其余 3 组饲粮通过添加苜蓿草使得 NDF 水平分别为 15%(15N 组)、20%(20N 组)和 25%(25N 组)（鲜物质基础）。试验期为 73 d，预试期 3 d，正试期 70 d。

1.3　试验饲粮

以苜蓿为主要 NDF 来源，配制等能等氮的 4 种饲粮。试验饲粮压制为颗粒料，直径为 6 mm，长度 4~6 cm，羔羊代乳品和预混料由北京精准动物研究中心提供，其他原料由羊场提供。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）　%

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets （DM basis）

项目	组别 Groups			
Items	10N	15N	20N	25N
原料 Ingredients				
玉米 Corn	63.00	51.80	42.00	36.80
豆粕 Soybean meal	23.50	17.50	8.00	
麸皮 Wheat bran	8.70	12.00	12.00	2.00

脂肪粉 Fat power		1.40	2.20	3.00
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS		6.00	12.00	18.00
膨化大豆 Extruded soybean			4.70	8.90
苜蓿 Alfalfa meal		6.80	15.00	27.50
石粉 Limestone	1.80	1.70	1.45	1.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.40	1.20	1.05	1.20
食盐 NaCl	0.60	0.60	0.60	0.60
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels				
代谢能 ME/(MJ/kg)[2)]	11.33	11.33	11.33	11.33
干物质 DM	86.86	87.05	85.17	85.61
粗蛋白质 CP	19.63	19.46	19.94	18.83
粗脂肪 EE	2.81	5.66	7.37	8.07
粗灰分 Ash	4.73	4.92	4.84	5.51
中性洗涤纤维 NDF	11.51	17.23	23.48	29.20
钙 Ca	1.67	1.67	1.67	1.53
总磷 TP	0.74	0.77	0.76	0.75

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 12 000 IU，VD 20 00 IU，VE 30 IU，Cu 12 mg，Fe 64 mg，Mn 56 mg，Zn 60 mg，I 1.2 mg，Se 0.4 mg，Co 0.4 mg，NaCl 6.4 g。

[2)]营养水平除代谢能外均为实测值。Nutrient levels were all measured values except ME.

1.4 饲养管理

所有试验羔羊均打耳号，免疫程序按羊场正规程序进行，每隔半个月对羊舍消毒 1 次（0.5%百毒杀、0.1%新洁尔灭）。羔羊于 18 日龄开始由随母哺乳逐渐过渡为饲喂代乳粉，同时补饲颗粒料。在 21 日龄正式开始试验，代乳粉按体重的 1%饲喂至 60 日龄，具体参照祁敏丽等[14]试验中的方法进行，全期颗粒料自由采食，颗粒料和代乳粉每天 06：00 和 16：00 饲喂 2 次。羔羊 60 日龄后断液体饲料，完全饲喂颗粒料，至 90 日龄试验结束。

1.5 测定指标与方法

1.5.1　试验饲粮常规营养成分测定

代乳粉及开食料中常规营养成分测定方法：能量使用 Parr-6400 氧弹量热仪测定；粗蛋白质含量采用 KDY-9830 全自动凯氏定氮仪测定；干物质、粗脂肪、NDF、钙、总磷含量等指标参考《饲料分析及饲料质量检测技术》测定[15]。

1.5.2　生长性能

晨饲前记录羔羊 21、30、40、50、60、90 日龄体重，每天准确记录投料量，每 5 d 记录剩料量，计算各阶段的平均体重、平均干物质采食量、平均日增重和饲料转化率。

1.5.3　血清指标

在 90 日龄每个组随机挑选 6 只接近平均体重的羔羊进行颈静脉采血，1 040×*g* 离心 10 min，分离得到的血清于-20 ℃保存，用于检测血清指标。使用日立 7160 全自动生化仪和测定血清葡萄糖(GLU)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、尿素氮(UN)、尿酸（UA）、肌酐（Cre）含量，酶联免疫吸附法测定血清胰岛素（INS）、β-羟丁酸（BHBA）、生长激素（GH）、胰岛素样生长因子-Ⅰ（IGF-Ⅰ）含量。

1.5.4　屠宰性能和组织器官发育

羔羊90日龄时每组选取健康、体重接近该组平均体重的6只羔羊，禁食、禁水16 h后，静脉放血致死。屠宰前称取屠宰羔羊体重即为宰前活重（live weight before slaughter,LWBS），解剖后称量胴体、头、蹄、皮毛、心脏、肝脏、脾脏、肺脏、肾脏重量。计算屠宰率、胴体重和各器官重。

1.6　数据处理

试验数据采用 Excel 2007 进行初步整理，采用 SPSS 19.0 统计软件 ANOVA 程序进行单因素方差分析，差异显著时用 Duncan 氏法进行多重比较。以 $P<0.05$ 作为差异显著的判断标准，以 $0.05\leq P<0.10$ 作为有变化趋势的标准。

2　结　果

2.1　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊生长性能的影响

2.1.1　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊平均体重的影响

由表 2 可知，在 21、30 和 40 日龄时，各组间羔羊平均体重差异不显著($P>0.05$)；在 50 和 60 日龄时，20N 和 25N 组羔羊平均体重均显著高于 10N 组（$P<0.05$），其余各组间差异不显著($P>0.05$)；在 90 日龄时，15N、20N 和 25N 组羔羊平均体重均显著高于 10N 组（$P<0.05$），同时 25N 组显著高于 15N 组（$P<0.05$）。在试验的各个阶段，20N 组与 25N 组间羔羊平均体重差异均不显著($P>0.05$)。

表 2　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊平均体重的影响

Table 2　Effects of different levels of dietary NDF on average body weight of early-weaned lambs　kg

日龄 Days of age	组别 Groups				SEM	*P*-值 *P*-value
	10N	15N	20N	25N		
21	6.04	6.07	6.11	6.17	0.10	0.972
30	6.28	6.47	6.64	6.84	0.11	0.336
40	7.59	7.84	8.49	8.44	0.16	0.111
50	8.79[b]	9.51[ab]	10.49[a]	10.46[a]	0.22	0.018
60	11.04[b]	12.06[ab]	13.13[a]	13.34[a]	0.28	0.013
90	18.36[c]	20.85[b]	22.68[ab]	23.42[a]	0.46	＜0.001

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.1.2　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊平均日增重的影响

由表 3 可知，在 21~30 日龄、31~40 日龄时，各组间羔羊平均日增重无显著差异(P＞0.05)，而在 41~50 日龄、51~60 日龄及 21~60 日龄时，20N 和 25N 组羔羊平均日增重显著高于 10N 组(P<0.05)。断液体饲料后（61~90 日龄）和整个试验期（21~90 日龄），15N、20N 和 25N 组羔羊平均日增重均显著高于 10N 组(P<0.05)，同时 25N 组显著高于 15N 组(P<0.05)。在试验的各个阶段，20N 组与 25N 组间羔羊平均日增重差异均不显著(P＞0.05)。

表 3　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊平均日增重的影响

Table 3　Effects of different levels of dietary NDF on average daily gain of early-weaned lambs　g/d

日龄 Days of age	组别 Groups				SEM	*P*-值 *P*-value
	10N	15N	20N	25N		
21~30	23.96	39.84	53.24	67.88	7.00	0.143
31~40	131.22	137.50	184.44	159.80	9.04	0.147
41~50	106.95[b]	167.16[a]	200.18[a]	201.32[a]	9.72	0.001

51~60	213.24^{b}	255.70^{ab}	261.51^{a}	287.94^{a}	8.30	0.015
21~60	125.58^{b}	150.17^{ab}	174.18^{a}	179.23^{a}	6.13	0.006
61~90	246.93^{c}	289.90^{b}	317.65^{ab}	336.69^{a}	7.07	＜0.001
21~90	176.04^{c}	210.17^{b}	235.08^{ab}	247.25^{a}	6.04	＜0.001

2.1.3　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊平均干物质采食量的影响

由表 4 可知，在 21~30 日龄和 31~40 日龄时，各组间羔羊平均干物质采食量无显著差异(P＞0.05)；在 41~50 日龄、51~60 日龄、21~60 日龄及 61~90 日龄时，20N 和 25N 组羔羊平均干物质采食量均显著高于 10N 组(P<0.05)；在 41~50 和 51~60 日龄时，15N 组羔羊平均干物质采食量显著高于 10N 组(P<0.05)；整个试验期，20N 和 25N 组羔羊平均干物质采食量显著高于 10N 组(P<0.05)，同时 25N 组显著高于 15N 组(P<0.05)。在试验的各个阶段，20N 组与 25N 组间羔羊平均干物质采食量差异均不显著(P＞0.05)。

表 4　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊平均干物质采食量的影响

Table 4　Effects of different levels of dietary NDF on average dry matter intake of early-weaned lambs　g/d

日龄 Days of age	组别 Groups				SEM	P-值 P-value
	10N	15N	20N	25N		
21~30	228.83	196.82	210.83	203.84	6.42	0.349
31~40	273.82	290.66	355.41	334.41	14.96	0.188
41~50	334.73^{b}	440.14^{a}	523.34^{a}	525.56^{a}	23.31	0.002
51~60	382.70^{b}	541.20^{a}	615.99^{a}	633.47^{a}	29.25	0.002
21~60	301.40^{b}	367.20^{ab}	426.39^{a}	424.32^{a}	16.26	0.007
61~90	554.73^{c}	670.65^{bc}	759.46^{ab}	855.69^{a}	32.82	0.002
21~90	416.78^{c}	497.25^{bc}	569.14^{ab}	607.37^{a}	21.31	0.001

2.1.4　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊饲料转化率的影响

由表 4 可知，在 51~60 日龄时，10N 组羔羊饲料转化率显著低于 15N、20N 和 25N 组(P<0.05)，其余各个阶段各组间均差异不显著(P＞0.05)。

表 5　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊饲料转化率的影响

Table 5　Effects of different levels of dietary NDF on feed conversion ratio of early-weaned lambs

日龄 Days of age	组别 Groups 10N	15N	20N	25N	SEM	*P*-值 *P*-value
21~30	4.81	5.40	4.23	3.74	0.48	0.627
31~40	2.22	2.20	1.98	2.35	0.13	0.826
41~50	3.63	3.15	2.62	2.61	0.27	0.521
51~60	1.71[b]	2.10[a]	2.47[a]	2.21[a]	0.08	0.004
21~60	2.51	2.50	2.55	2.39	0.08	0.929
61~90	2.25	2.32	2.40	2.55	0.06	0.392
21~90	2.40	2.37	2.45	2.47	0.05	0.909

2.2　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊血清指标的影响

由表 6 可知，20N 和 25N 组羔羊血清 Cre 含量显著低于 15N 组(P<0.05)；15N、20N 和 25N 组羔羊血清 BHBA 含量显著高于 10N 组(P<0.05)，同时，20N 和 25N 组显著高于 15 组(P<0.05)。各组间其余血清指标差异均不显著(P＞0.05）。

表 6　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊血清指标的影响

Table 6　Effects of different levels of dietary NDF on serum parameters of early-weaned lambs

项目 Items	组别 Groups 10N	15N	20N	25N	SEM	*P*-值 *P*-value
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.82	5.13	5.16	5.24	0.09	0.394
总蛋白 TP/(g/L)	56.09	59.03	61.10	56.22	0.96	0.193
白蛋白 ALB/(g/L)	25.82	29.07	28.63	28.22	0.49	0.072
尿素氮 UN/(mmol/L)	7.19	7.50	6.58	6.95	0.17	0.303
尿酸 UA/(μmol/L)	124.87	112.28	142.33	112.75	6.02	0.238
肌酐 Cre/(μmol/L)	44.64[ab]	47.54[a]	39.54[b]	39.03[b]	1.23	0.026
胰岛素 INS/（μIU/mL)	12.82	10.17	12.57	11.21	0.50	0.238
β-羟丁酸 BHBA/（μmol/L）	16.11[c]	23.69[b]	33.90[a]	37.40[a]	1.94	0.001
生长激素 GH/(ng/mL)	1.50	0.99	1.30	1.28	0.09	0.344
胰岛素样生长因子 IGF-Ⅰ/(ng/mL)	67.17	62.43	70.98	73.00	2.04	0.274

2.3　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊屠宰性能的影响

由表 7 可知，20N 和 25N 组羔羊宰前活重和胴体重均显著高于 10N 组(P<0.05)，其余各组间差异不显著(P>0.05)。饲粮 NDF 水平有增加屠宰率的趋势（P=0.053），且以 20N 组最高。

表 7　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊屠宰性能的影响

Table 7　Effects of different levels of dietary NDF on slaughter performance of early-weaned lambs

项目 Items	组别 Groups 10N	15N	20N	25N	SEM	*P*-值 *P*-value
宰前活重 Live weight before slaughter/kg	19.06[b]	21.15[ab]	22.12[a]	23.33[a]	0.55	0.030
胴体重 Carcass weight/kg	8.47[b]	9.69[ab]	10.56[a]	10.88[a]	0.29	0.008
屠宰率 Dressing percentage/%	44.34	45.80	47.80	46.63	0.47	0.053

2.4　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊组织器官发育的影响

由表 8 可知，25N 组羔羊头占宰前活重的比例显著低于 10N 组(P<0.05)，而蹄重、心脏重、肝脏重和脾脏重均显著高于 10N 组(P<0.05)；20N 组羔羊心脏重和肝脏重显著高于 10N 组(P<0.05)。各组间其余指标均差异不显著(P>0.05)。

表 8　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊组织器官发育的影响

Table 8　Effects of different levels of dietary NDF on tissue and organ development of early-weaned lambs

项目 Items		组别 Groups 10N	15N	20N	25N	SEM	*P*-值 *P*-value
头 Head	重量 Weight/g	1148.33	1198.33	1235.00	1268.33	19.39	0.148
	占宰前活重的比例 Percentage of live weight before slaughter/%	6.06[a]	5.68[ab]	5.62[ab]	5.45[b]	0.08	0.047
蹄 Feet	重量 Weight/g	571.67[c]	625.00[bc]	658.33[ab]	701.67[a]	14.80	0.007

	占宰前活重的比例 Percentage of live weight before slaughter/%	3.03	2.97	2.99	3.01	0.05	0.979
皮毛 Skin and hair	重量 Weight/g	571.67	625.00	658.33	701.67	51.80	0.060
	占宰前活重的比例 Percentage of live weight before slaughter/%	9.23	9.41	9.45	9.00	0.15	0.718
心脏 Heart	重量 Weight/g	86.23^{c}	95.46^{bc}	106.37^{ab}	112.18^{a}	2.93	0.002
	占宰前活重的比例 Percentage of live weight before slaughter/%	0.46	0.45	0.48	0.48	0.01	0.560
肝脏 Liver	重量 Weight/g	491.31^{b}	493.77^{b}	571.61^{a}	593.65^{a}	14.70	0.011
	占宰前活重的比例 Percentage of live weight before slaughter/%	2.62	2.33	2.60	2.55	0.06	0.393
脾脏 Spleen	重量 Weight/g	31.65^{b}	33.91^{b}	38.65^{ab}	44.57^{a}	1.68	0.022
	占宰前活重的比例 Percentage of live weight before slaughter/%	0.17	0.16	0.18	0.19	0.01	0.581
肺脏 Lung	重量 Weight/g	295.51	285.10	311.52	321.67	10.07	0.609
	占宰前活重的比例 Percentage of live weight before slaughter/%	1.55	1.35	1.45	1.39	0.05	0.611
肾脏	重量 Weight/g	74.28	86.68	95.22	116.00	6.19	0.101

Kidney	占宰前活重的比例 Percentage of live weight before slaughter/%	0.40	0.41	0.43	0.50	0.03	0.472

3 讨 论

3.1 不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊生长性能的影响

随着日龄的增长，幼龄反刍动物的采食量逐渐增加，对饲粮 NDF 的需要量也逐渐增加。饲粮 NDF 主要通过促进幼畜的咀嚼、反刍和降低发酵速率对瘤胃发酵进行调控。因此，10N 组羔羊 41 日龄后生长性能降低可能是因为饲粮为全精料，大量的易发酵碳水化合物快速发酵，使瘤胃内挥发性脂肪酸（VFA）浓度升高，造成 pH 的下降[16]，导致亚急性瘤胃酸中毒，最终影响羔羊采食量。相反，15N、20N 和 25N 组饲粮 NDF 水平则有利于瘤胃液缓冲能力，维持适宜的瘤胃内环境[5,10]。在犊牛相关试验中也发现，通过秸秆或大豆皮增加饲粮纤维水平，促进了采食量和体增重[17-18]。然而，Kosiorowska 等[19]比较了 2 种不同 NDF 开食料对犊牛的影响，结果表明低 NDF（高淀粉）开食料促进干草采食和犊牛增重速度。与本试验结果差异的可能原因是在该试验中 2 组饲粮除 NDF 和淀粉水平不同外，饲料原料组成及物理形式差别也较大，因此很难区分结果是由于哪个因素为主导。本试验中，在 21~40 日龄各组间羔羊平均末重、平均日增重和平均干物质采食量差异不显著，而在 41~90 日龄阶段 20N 和 25N 组平均末重、平均日增重和平均干物质采食量均显著高于 10N 组，表明在本试验条件下，提高饲粮 NDF 水平促进了 41 日龄后羔羊生长性能。

Castells 等[6,20]研究发现，断奶前补饲干草相比不补饲，断奶前后饲料转化率均无显著差异。同时 Nemati 等[21]研究发现，改变饲粮苜蓿水平对犊牛断奶前后饲料转化率无显著影响。本试验中，尽管各组间在平均末重、平均日增重和平均干物质采食量差异变化较大，但是饲料转化率整个试验期各组间无显著差异，这也表明通过改变苜蓿水平提高饲粮 NDF 水平并不会降低营养物质利用率。

3.2 不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊血清指标的影响

通过血清指标可以一定程度上反映羔羊生长发育、营养物质代谢和机体健康状况。GLU 是机体对糖吸收、转运和代谢动态平衡的反映，是机体各组织细胞所需能量的直接来源。本试验中，各组间血清GLU含量无显著差异，说明不同NDF水平饲粮对羔羊的能量代谢无影响。血清TP和ALB与蛋白质的营养密切相关，其含量通常反映了机体对蛋白质吸收、合成和代谢的大致情况。ALB由肝实质细胞合成，主要功能是维持血浆渗透压和作为营养物质载体，

此外其本身也是机体蛋白质的一个来源。本研究中10N组血清ALB含量最低，这一定程度表明低NDF水平饲粮对肝脏ALB的合成有抑制效应。然而，血清ALB含量的变化是否与蛋白质的消化代谢有关，还有待进一步数据说明。血清UN是羔羊氮代谢的一项重要指标，一部分来源于蛋白质的分解，另一部分来源于瘤胃壁对氨态氮的吸收，其含量越低说明氮利用率越高。本试验中不同NDF水平饲粮对蛋白质代谢相关血清指标无影响，这与Yang等[13]的研究结果相一致。与生长有关的激素主要有INS、GH和IGF-Ⅰ等，INS主要通过调节机体GLU含量和肝脏中GH受体含量影响动物生长发育，本试验中各组间血清INS含量无显著差异，其与血清GLU含量结果相似，均说明饲粮NDF水平对幼畜糖代谢无影响。这可能是本试验各组间采用等能等氮的饲粮设计有关。另外，本试验结果表明，尽管在90日龄15N、20N和25N组生长强度较10N组快，但是各组间血清GH和IGF-Ⅰ含量无显著差异。

血清UA含量的高低主要取决于肾脏排出Cre的多少，其含量能反映出机体肾脏功能的健康程度。本试验中，15N组血清Cre浓度显著高于20N和25N组，这表明饲粮NDF水平为15%时可能会对早期断奶羔羊肾脏造成损伤。血清BHBA有2个来源，一是由非酯化脂肪酸在肝脏中氧化而来[22]，二是经瘤胃吸收的丁酸转化而来[23]，其含量可以作为衡量瘤胃壁代谢功能的指标。Nemati等[21]发现高苜蓿水平饲粮提高了犊牛血清BHBA含量。这与本试验结果一致，说明饲粮NDF水平与瘤胃壁转化丁酸为BHBA的效率相关，关于这一结论还需瘤胃壁中与丁酸相关代谢相关基因表达等参数进一步证明。

3.3　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊屠宰性能的影响

胴体重和屠宰率不仅是衡量动物屠宰性能和生长性能的重要指标，而且是动物经济价值的直观表现。本试验结果表明，20N和25N组胴体重均显著高于10N组，屠宰率也有增加趋势，并且以20N组最高（47.80%）。这表明早期断奶羔羊饲喂高NDF水平饲粮促进了羔羊生长性能和提高了动物的经济价值。这是由于苜蓿草果胶含量较高而半纤维素含量较低，适口性高，促进了羔羊采食量，充足的消化养分最终促进了肌肉和骨骼的发育。王世琴等[24]研究发现，高NDF开食料（17.01%）促进了羔羊胴体重。Yang等[13]补饲湖羊羔羊苜蓿显著提高了胴体重。然而，王立斌[25]研究发现，犊牛补饲干草与不补饲相比，胃肠道重量显著增加，并且胴体重显著降低。此外，Mirzae等[26]研究显示，相比饲喂低含量苜蓿饲粮组（8%），高苜蓿组（16%）显著降低了屠宰率。造成这种差异可能是由于犊牛补饲粗饲料，采食NDF含量高，导致食糜在胃肠道积累，从而使胃肠道重量增加，最终反映在体重上的增加，而不是屠宰性能的增加。

3.4　不同 NDF 水平饲粮对早期断奶羔羊组织器官发育的影响

组织重量和内脏器官重量的增加对营养物质的反映非常迅速[14,27-28]。本试验中，随着饲粮 NDF 水平的增加，采食量的增加和内脏器官重量的增加相一致。组织重量和器官重量在一定程度上反映了动物机体的机能状况，对于理论研究和生产实践有重要的意义。从幼龄反刍动物到成年反刍动物需要经历由小肠直接吸收葡萄糖提供能量到肝脏中进行糖异生化供能的巨大转变，在成年后肝脏作为主导机体新陈代谢的主要器官，对羔羊的生长发育至关重要。本试验中，20N 和 25N 组肝脏重均显著高于 10N 组，表明高水平 NDF 饲粮促进了肝脏的发育，但其占宰前活重的比例各组间差异不显著，说明了器官的发育与整个机体的发育相协调。脾脏属外周免疫器官，脾脏的发育状况关系到体液和细胞免疫的功能能否正常发挥。本试验中，25N 组脾脏重显著高于 10N 和 15N 组，说明高水平 NDF 饲粮对免疫器官的发育具有促进作用。

4　结　论

本试验条件下，饲粮 NDF 水平为 20%或 30%时，提高了湖羊羔羊 90 日龄生长性能、屠宰性能以及心脏、肝脏和脾脏等内脏器官的发育。

致　谢

感谢张蓉师姐在饲料配方上提供的帮助，另外特别感谢李文娟、胡风明、李双和马绍楠同学在屠宰试验过程中提供的帮助，同时也感谢南京农业大学李奉哲、冯旭和郑健在羔羊称重和采血等方面的帮助。

参考文献：

[1]　柴建民,刁其玉,屠焰,等.早期断奶时间对湖羊羔羊组织器官发育、屠宰性能和肉品质的影响[J].动物营养学报,2014,26(7):1838–1847.

[2]　王海超,张乃锋,柴建民,等.人工哺育代乳粉对湖羊双胎羔羊生长发育、营养物质消化和血清学指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(2):436–447.

[3]　王波,柴建民,王海超,等.蛋白水平对早期断奶双胞胎湖羊公羔营养物质消化与血清指标的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(6):1170–1179.

[4]　李辉.蛋白水平与来源对早期断奶犊牛消化代谢及胃肠道结构的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2008.

[5]　KHAN M A,WEARY D M,VON KEYSERLINGK M A.Hay intake improves performance and rumen development of calves fed higher quantities of milk[J].Journal of Dairy Science,2011,94(7):3547–3553.

[6] CASTELLS L,BACH A,ARAUJO G,et al.Effect of different forage sources on performance and feeding behavior of Holstein calves[J].Journal of Dairy Science,2012,95(1):286–293.

[7] DRACKLEY J K.Calf nutrition from birth to breeding[J].Veterinary Clinics of North America Food Animal Practice,2008,24(1):55–86.

[8] HOSSEINI S M,GHORBANI G R,REZAMAND P,et al.Determining optimum age of Holstein dairy calves when adding chopped alfalfa hay to meal starter diets based on measures of growth and performance[J].Animal,2015,10(4):607–615.

[9] ACKEREN C V,STEINGA H,HARTUNG K,et al.Effect of roughage level in a total mixed ration on feed intake,ruminal fermentation patterns and chewing activity of early-weaned calves with ad libitum access to grass hay[J].Animal Feed Science and Technology,2009,153(1/2):48–59.

[10] COVERDALE J A,TYLER H D,BRUMM J A,et al.Effect of various levels of forage and form of diet on rumen development and growth in calves[J].Journal of Dairy Science,2004,87(8):2554–2562.

[11] NEMATI M,AMANLOU H,KHORVASH M,et al.Effect of different alfalfa hay levels on growth performance,rumen fermentation,and structural growth of Holstein dairy calves[J].Journal of Animal Science,2016,94(3):1141–1148.

[12] 张立涛.25~50 kg 杜寒杂交 F1 代肉用绵羊日粮 NDF 适宜水平的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.

[13] YANG B,HE B,WANG S S,et al.Early supplementation of starter pellets with alfalfa improves the performance of pre-and postweaning *Hu* lambs[J].Journal of Animal Science,2015,93(10):4984–4994.

[14] 祁敏丽,马铁伟,刁其玉,等.饲粮营养限制对断奶湖羊羔羊生长、屠宰性能以及器官发育的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(8):1601–1609.

[15] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[16] LAARMAN A H,OBA M.*Short communication*:effect of calf starter on rumen pH of Holstein dairy calves at weaning[J].Journal of Dairy Science,2011,94(11):5661–5664.

[17] THOMAS D B,HINKS C E.The effect of changing the physical form of roughage on the performance of the early-weaned calf[J].Animal Production,2010,35(3):375–384.

[18] HILL S R,HOPKINS B A,DAVIDSON S,et al.The addition of cottonseed hulls to the starter

and supplementation of live yeast or mannanoligosaccharide in the milk for young calves[J].Journal of Dairy Science,2009,92(2):790–798.

[19] KOSIOROWSKA A,PUGGAARD L,HEDEMANN M S,et al.Gastrointestinal development of dairy calves fed low-or high-starch concentrate at two milk allowances[J].Animal,2011,5(2):211–219.

[20] CASTELLS L,BACH A,TERRÉ M.Short- and long-term effects of forage supplementation of calves during the preweaning period on performance,reproduction,and milk yield at first lactation[J].Journal of Dairy Science,2015,98(7):4748–4753.

[21] NEMATI M,AMANLOU H,KHORVASH M,et al.Rumen fermentation,blood metabolites,and growth performance of calves during transition from liquid to solid feed:Effects of dietary level and particle size of alfalfa hay[J].Journal of Dairy Science,2015,98(10):7131–7141.

[22] ROCHE J R,SHEAHAN A J,CHAGAS L M,et al.*Short communication*:change in plasma ghrelin in dairy cows following an intravenous glucose challenge[J].Journal of Dairy Science,2008,91(3):1005–1010.

[23] ANDERSSON L,LUNDSTRÖM K.Effect of feeding silage with high butyric acid content on ketone body formation and milk yield in postparturient dairy cows[J].Zentralblatt Für Veterinärmedizin Reihe A,1985,32(1):15–23.

[24] 王世琴,李冲,李发弟,等.开食料中性洗涤纤维水平对哺乳羔羊生长性能和消化道发育的影响[J].动物营养学报,2014,26(8):2169–2175.

[25] 王立斌.在饲喂开食料的基础上补饲苜蓿对犊牛胃肠道发育的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2013.

[26] MIRZAEI M,KHORVASH M,GHORBANI G R,et al.Effects of supplementation level and particle size of alfalfa hay on growth characteristics and rumen development in dairy calves[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2015,99(3):553–564.

[27] MEYER A M,REED J J,VONNAHME K A,et al.Effects of stage of gestation and nutrient restriction during early to mid-gestation on maternal and fetal visceral organ mass and indices of jejunal growth and vascularity in beef cows[J].Journal of Animal Science,2010,88(7):2410–2424.

[28] CATON J S,REED J J,AITKEN R P,et al.Effects of maternal nutrition and stage of gestation

on body weight,visceral organ mass,and indices of jejunal cellularity,proliferation,and vascularity in pregnant ewe lambs[J].Journal of Animal Science,2009,87(1):222–235.

Effects of Different Levels of Dietary Neutral Detergent Fiber on Growth Performance, Serum Parameters, Slaughter Performance and Tissue and Organ Development of Early-Weaned *Hu* Lambs

XIE Biao[1,2] ZHANG Naifeng[1*] CUI Kai[1] WANG Shiqin[1] LYU Xiaokang[1] DIAO Qiyu[1*]

(1. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081*, China*; *2. College of Animal Science and Technology, Shanxi Agricultural University, Taigu* 030801, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of different levels of dietary neutral detergent fiber (NDF) on growth performance, serum parameters, slaughter performance and tissue and organ development of early-weaned *hu* lambs. One hundred healthy *Hu* lambs with similar body weight [(6.10±0.10) kg] and (18±2) days of age were randomly divided into four groups with five replicates in each group and five lambs in each replicate. Lambs in four groups were fed diets containing 10% (10N group), 15% (15N group), 20% (20N group) and 25% (25N group) NDF, respectively. All lambs received milk replacer at 21 to 60 days of age. The pre-experimental period lasted for 3 days, and the experimental period lasted for 70 days. The results showed as follows: 1) at 50, 60 and 90 days of age, the average body weight of lambs in 20N and 25N groups was significantly higher than that in 10N group (P<0.05), correspondly, at 41 to 50, 51 to 60 and 21 to 60 days of age, the average daily gain and average dry matter intake of lambs in 20N and 25N groups were significantly higher than those in 10N group (P<0.05). The feed to gain ratio of lambs had no significant difference among all groups at all periods except at 51 to 60 days of age (P>0.05). 2) The serum creatinine content of lambs in 15N group was significantly higher than that in 20N and 25N groups (P<0.05), the serum β-hydroxybutyrate content of lambs in 15N, 20N and 25N groups was significantly higher than that in 10N group (P<0.05). 3) The live weight before slaughter and carcass weight of lambs in 20N and 25N groups were significantly higher than those in 10N group (P<0.05). 4) The head percentage of live weight before slaughter of lambs in 25N group was significantly lower than that in 10N group (P<0.05), but the feet weight, heart weight, liver weight and spleen weight of lambs were significantly

higher than those in 10N group (P<0.05). The heart weight and liver weight of lambs in 20N group were significantly higher than those in 10N group (P<0.05). In conclusion, when dietary NDF level was 20% or 30%, it can improve the growth performance, slaughter performance and organ weight such as heart and liver of lambs.

Key words: NDF; early-weaned lambs; growth performance; slaughter performance

---

*Corresponding authors: ZHANG Naifeng, professor, E-mail: zhangnaifeng@caas.cn; DIAO Qiyu, professor, E-mail: diaoqiyu@263.net

（责任编辑　武海龙）